

CONOCIMIENTO CIENTÍFICO DEL AGUA DE LAS FUENTES DEL MONTSENY, HERRAMIENTA DE CONSERVACIÓN DE SUS ECOSISTEMAS FONTINALES

Oscar Farrerons Vidal¹, Fortià Prat Bofill²

(1) *Universidad Politécnica de Catalunya, oscar.farrerons@upc.edu*

(2) *Laboratorio Clínico H2O Prat*

RESUMEN

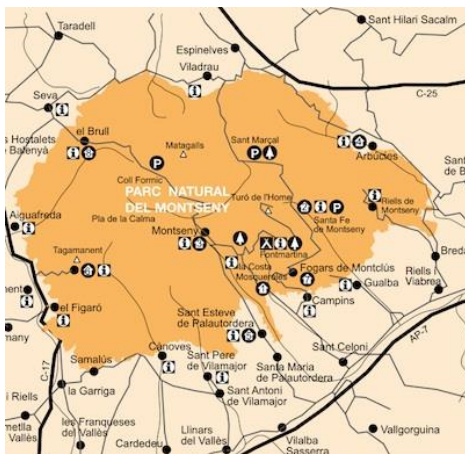
Se realiza un muestreo del agua de las 225 fuentes principales del macizo del Montseny, de tres zonas geográficas diferentes, para realizar el análisis de parámetros fisicoquímicos y elementos como el caudal, pH, conductividad, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, dureza, calcio, magnesio, sodio y potasio. La metodología utilizada para la determinación de cada uno de los parámetros se ha hecho según los métodos estándar, se ha llevado a cabo un control de calidad externo y se ha realizado el balance iónico para ver el porcentaje de error en el análisis. Con los resultados encontrados se ha caracterizado cada una de las aguas, concluyendo que las aguas del Montseny son de mineralización débil, mayoritariamente bicarbonatado-cálcicas, y contenidos puntuales superiores a 50 mg/l. de nitratos en alguna fuente. Se comparan los datos fisicoquímicos de cada zona geográfica para concluir que la altitud es un factor que influye de manera significativa en los resultados.

Palabras-clave: Montseny, análisis quimicomineral, nitratos.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos cuatro años se ha llevado a cabo un muestreo de las aguas de fuentes del Parque Natural Reserva de la Biosfera del Montseny, situado en la cordillera prelitoral catalana, en el límite entre las provincias de Barcelona y Girona (figura 1). En el parque natural del Montseny, el agua en general y las fuentes en particular (Farrerons, 2019) son uno de sus elementos fundamentales; en él han sido identificadas casi novecientas fuentes (Farrerons y Corella, 2020), consultables a través del código QR de la figura 2.

Figura 2



Fuente: Oscar Farrerons, Adrià Corella.

En las tres zonas geográficas, aunque con sus particularidades locales, de manera general impera el clima mediterráneo continental, con inviernos largos y fríos, poca primavera y un otoño largo. El bosque es muy variado, con pinares, encinares y robledales en las partes bajas, y hayedos, enebros y matorrales en las partes culminantes del macizo.

Las aguas del Montseny oeste discurren a mediodía por el río Congost, alimentado por un sinfín de torrentes que nacen en gran cantidad de fuentes. Existe una gran variedad altitudinal, asimismo como de constitución geológica, que va del terciario de las zonas basales hasta el triásico del sector del Brull y el paleozoico de coll Formic (Barberà, 2000). La media pluviométrica de la zona oeste ronda los 773 mm (Seva: 798 mm, Aiguafreda: 741mm, Tagamanent: 733 mm, Centelles: 818 mm). La población (10.000 habitantes) se concentra en los pueblos asentados alrededor de la carretera C-17.

Las fuentes del Montseny este desguazan por multitud de riachuelos a la riera de Arbúcies, que discurre dirección sur hasta convertirse en un afluente del río Tordera. La pluviometría de la zona (Arbúcies: 824 mm, Sant Feliu de Buixalleu: 831 mm, Breda: 756 mm) reparte de manera homogénea sus 804 mm entre los diferentes municipios y estaciones del año. Existen zonas geológicas del Carbonífero Pérmico y del Cámbrico y Mioceno inferior (ICGC, 2020). Es la zona más poblada de las tres estudiadas, con 15.000 habitantes, sobre todo en Arbúcies y las planas aluviales del Tordera.

2. OBJETIVOS

Después de llevar a cabo estudios sobre la cultura de las fuentes, y sus valores patrimoniales e históricos (Farrerons, 2018) en los últimos años se está investigando sobre la calidad quimicomíneral de las aguas que manan de las fuentes del Montseny. El objetivo es detectar la relación que se produce entre las composiciones minerales de las aguas, su altitud y su situación geográfica, establecer correlaciones entre los parámetros analizados, y poder comparar sus resultados por zonas norte, oeste y este, siguiendo los mismos tipos de análisis fisicoquímicos en todas las zonas. Un objetivo de futuro para continuar con la investigación será ampliar las correlaciones al sustrato geológico, la cubierta vegetal y la actividad agrícola, que solo se mencionan de pasada.

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta investigación se han visitado 345 fuentes, en las que solo se han podido recoger agua de las 223 muestras analizadas, por falta de caudal en las restantes, a pesar que en algunas de ellas se han hecho varias visitas de campo. Se han seleccionado fuentes en zonas boscosas, de prados, y urbanas, y procurando siempre que hubiera representación de todos los gradientes altitudinales, para una correcta gestión estadística de los resultados. Pueden verse todos los resultados químicos obtenidos en los planos googlemaps “Anàlisi mineralògica de les fonts del Montseny Oest” (Farrerons y Prat, 2018) y “Anàlisi mineralògica de les fonts del Montseny Est” (Farrerons y Prat, 2019).

Para tomar las muestras de agua de las fuentes se han utilizado botellines de 50 cl. de agua mineral. A pesar de que las botellas no eran estériles, se enjuagaron por lo menos tres veces con el agua de la fuente antes de tomar la muestra. Cada fuente con su nombre y el número de referencia se transportó el mismo día a *Laboratorio Clínico H2O Prat* (Torelló, Barcelona) laboratorio encargado de la analítica, autorizado por la Dirección General de Salud Pública con el número LSAA-104-97. La determinación de pH, conductividad, alcalinidad y nitratos, se hizo dentro de las 24 horas y el resto de los parámetros en 4 días máximo. Dado que el estudio es una referencia para los minerales esta metodología garantiza resultados correctos de las muestras. Para asegurar la calidad de los análisis, se participó en Ejercicios de Intercomparación de Resultados, organizados por entidades acreditadas por ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) como laboratorio de ensayo.

La calificación de las aguas se ha hecho usando el diagrama de Piper y el balance iónico se ha realizado para evaluar que el análisis se ha ejecutado correctamente. La interpretación de los

resultados, dependiendo de la geología se ha hecho con mapas del Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya (ICGC).

4. ALTITUD

La altitud de las fuentes del Montseny en las que se ha llevado a cabo los análisis de sus aguas es muy variable. En la tabla 1 se puede comparar los valores máximos, mínimos y medios de la altitud de las tres zonas geográficas estudiadas.

Tabla 1: Valores máximo, mínimo y de mediana (con error estándar) de la altitud de las fuentes por zona.

Altitud/ Zona	máxima		mínima		mediana	
	Fuente (municipio)	metros	Fuente (municipio)	metros	metros	error estándar
oeste	Sot del Rector (El Brull)	1.109	Industria (S. Martí de Centelles)	399	598	+/- 23,42
norte	Cims (Viladrau)	1.601	Fàbregues (Viladrau)	628	964	+/- 25,57
este	Sant Joan (Arbúcies)	1.215	Sot de la Coma (Riells i Viabrea)	117	460	+/- 34,01

Fuente: Elaboración propia.

La altitud, como veremos, es una de las variables que más afectará en la mineralización de las aguas de las fuentes. En el Montseny existen gran cantidad de fuentes por encima de los 1000 m de altitud, como por ejemplo la *font Bona* (figura 3), situada próxima al monasterio de Sant Marçal, en la zona norte del Montseny.

Figura 3: Font Bona, situada a 1100 m de altitud.



Foto Oscar Farrerons.

5. DISCUSIÓN

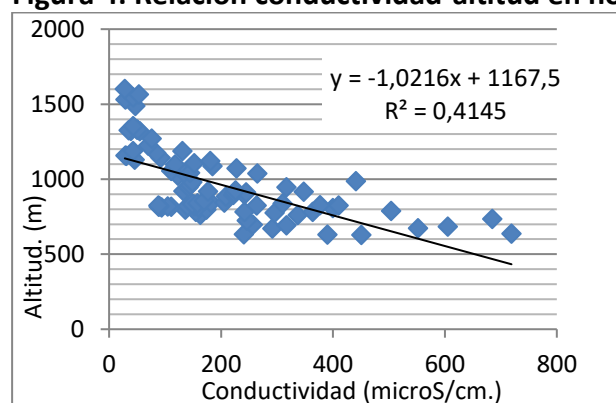
En la composición química de las aguas subterráneas, el factor decisivo es su capacidad para interactuar con la roca. La propiedad de disolver materiales se debe a su prolongado contacto con las formaciones geológicas a través de las cuales se desplaza, a la presencia de dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2) disueltos en el agua, y a la lenta velocidad con que se mueven. Por esta razón es tan importante no sólo la litología de los materiales excavados por las aguas subterráneas, sino también el grado de desarrollo y usos del suelo en la zona de carga y su interacción con la infiltración de agua. Otro factor muy importante en el grado de mineralización de las aguas es, a la vez, el tiempo que ha estado en contacto con una particular formación geológica o, lo que es usualmente equivalente, la distancia de la zona donde el agua se ha infiltrado en el campo de la fuente o la zona de recarga y hasta el área de descarga (Carmona, 1999, 100).

El grado de mineralización del agua viene determinado por la concentración total de iones disueltos indicado, básicamente, por la conductividad eléctrica a 20°C y de forma individual por las concentraciones de los principales iones: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

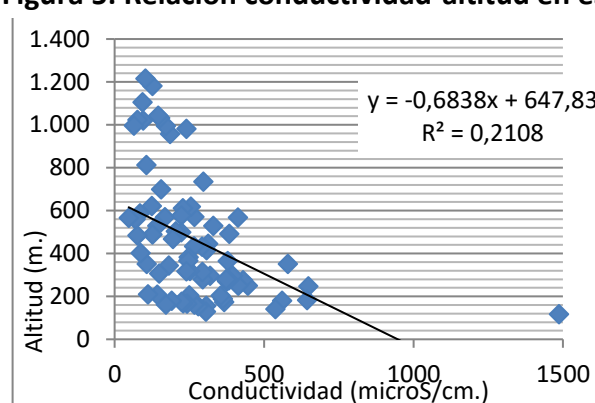
6. RESULTADOS

Los resultados de las investigaciones y análisis llevados a cabo demuestran que las aguas del Montseny son mayoritariamente de mineralización débil, ligeramente bicarbonatado-cálcicas, aunque se comportan de diferente manera según la zona geográfica de la fuente en cuestión. Una vez realizados todos los análisis y su estudio, se puede considerar que existe una cierta correlación manifiesta entre altitud, mineralización del agua y parámetros analizados, y se establecen buenas relaciones ($r > 0,9$) entre conductividad y dureza, bicarbonato, calcio y magnesio.

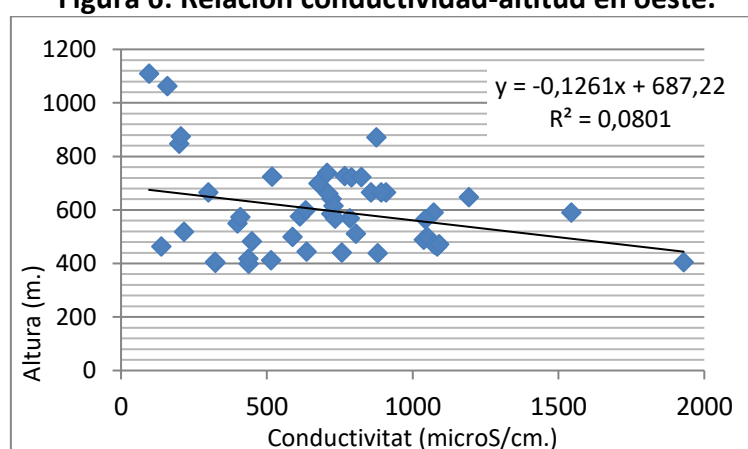
Las aguas bicarbonatadas y cálcicas, y con mayor conductividad, se encuentran en el oeste del Montseny. Las zonas norte y este, a pesar que esta última tiene valores superiores, se comportan de manera relativamente similar. Existe una clara polarización mineralógica en las aguas de las fuentes del Montseny en cuanto a los tres ámbitos geográficos estudiados (norte, oeste y este). De manera general, se puede afirmar que la altitud de la fuente tiene una relación inversamente proporcional con la mineralización de su agua, en ámbitos norte ($r = -0,6630$) y este ($r = -0,4578$). No ocurre lo mismo en la zona oeste, donde la correlación negativa, parámetros fisicoquímicos estudiados respecto a la altitud donde se encuentran las fuentes, es mucho menor ($r = -0,2831$). Existe una clara polarización mineralógica en las aguas de las fuentes del Montseny en cuanto a los tres ámbitos geográficos estudiados, como puede verse en las figuras 4, 5 y 6.

Figura 4: Relación conductividad-altitud en norte. Figura 5: Relación conductividad-altitud en este.

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6: Relación conductividad-altitud en oeste.

Fuente: Elaboración propia 1.

En las partes basales del macizo (y en especial en la zona oeste) se aprecian fuentes de aguas contaminadas por nitratos, lo que recomienda control sobre las acciones antrópicas para evitar posibles focos puntuales de contaminación (RD 140/2003).

Conocer las características minerales de las aguas de las fuentes, en relación a las diferentes zonas geográficas del Montseny estudiadas, nos permitirá saber cómo influyen la transición hídrica y el cambio global en dichas fuentes, que son un patrimonio histórico-cultural en el Montseny, y poder adaptarlas a dichos cambios con propuestas fundamentadas en el estudio de sus propiedades para proponer respuestas adecuadas a los nuevos retos planteados por la crisis climática actual (Gallart, 2003). El conocimiento científico ha de permitir la conservación de los ecosistemas fontinales sometidos a una creciente vulnerabilidad. Con los resultados obtenidos será posible, en próximas investigaciones, llevar a cabo un análisis pormenorizado sobre el impacto del cambio climático en las fuentes del Montseny.

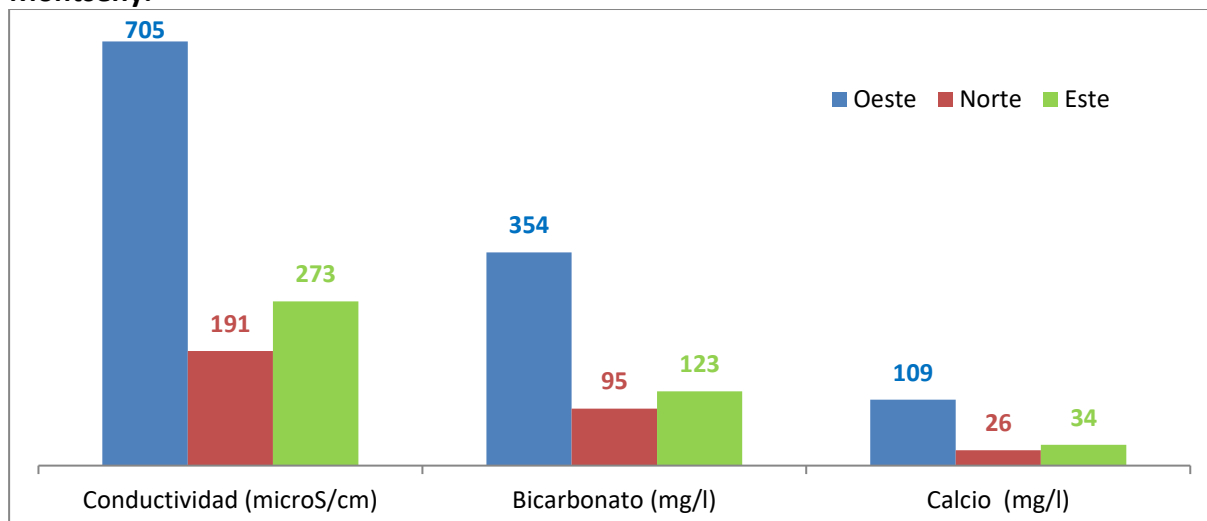
7. COMPARATIVA POR ZONAS

Si comparamos los resultados obtenidos con aquellos analizados hace dos años en la zona norte del Montseny y hace un año en la zona oeste, podemos observar que a pesar que en

general las aguas de las fuentes del macizo pueden considerarse de mineralización débil, el hecho de su ubicación nos puede indicar su grado y contenido mineral.

Así pues referente a conductividad, bicarbonato y calcio, y si comparamos las medias obtenidas en las aguas de las 100 fuentes del norte del Montseny, las 48 del oeste y las 75 del este, obtendremos la figura 7.

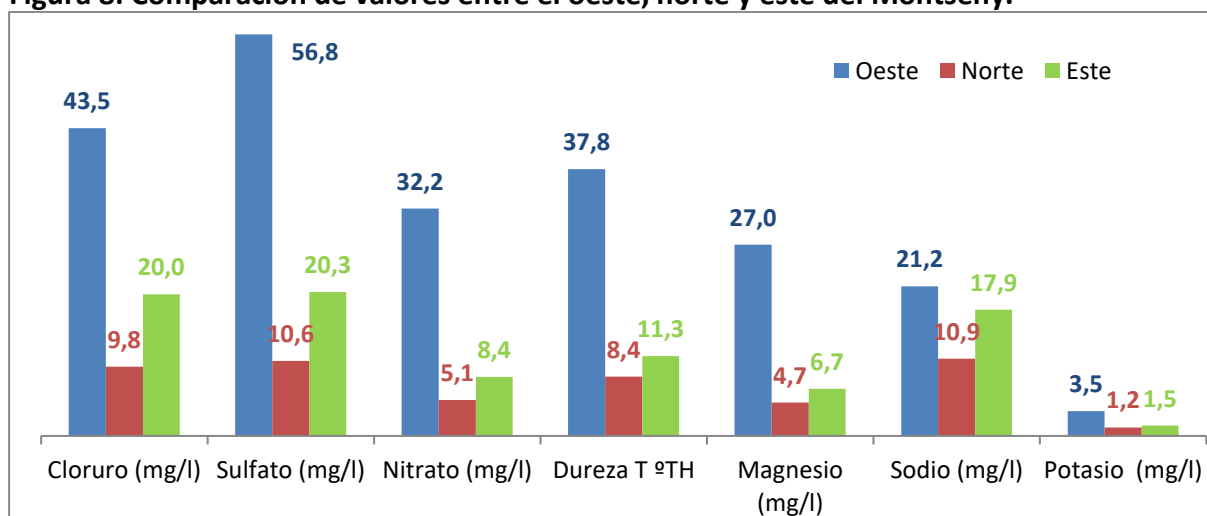
Figura 7: Comparación valores conductividad, bicarbonato y calcio entre ámbitos del Montseny.



Fuente: Elaboración propia.

Las aguas bicarbonatadas y cálcicas, y con mayor conductividad, o mineralización media, se encuentran en el oeste del Montseny. Las zonas norte y este, a pesar que esta última tiene valores superiores, se comportan de manera relativamente pareja. Similares resultados son encontrados al comparar los valores medios de cloruro, sulfato, nitrato, dureza, magnesio, sodio y potasio de las diferentes zonas geográficas del Montseny, tal y como podemos ver en la figura 8.

Figura 8: Comparación de valores entre el oeste, norte y este del Montseny.

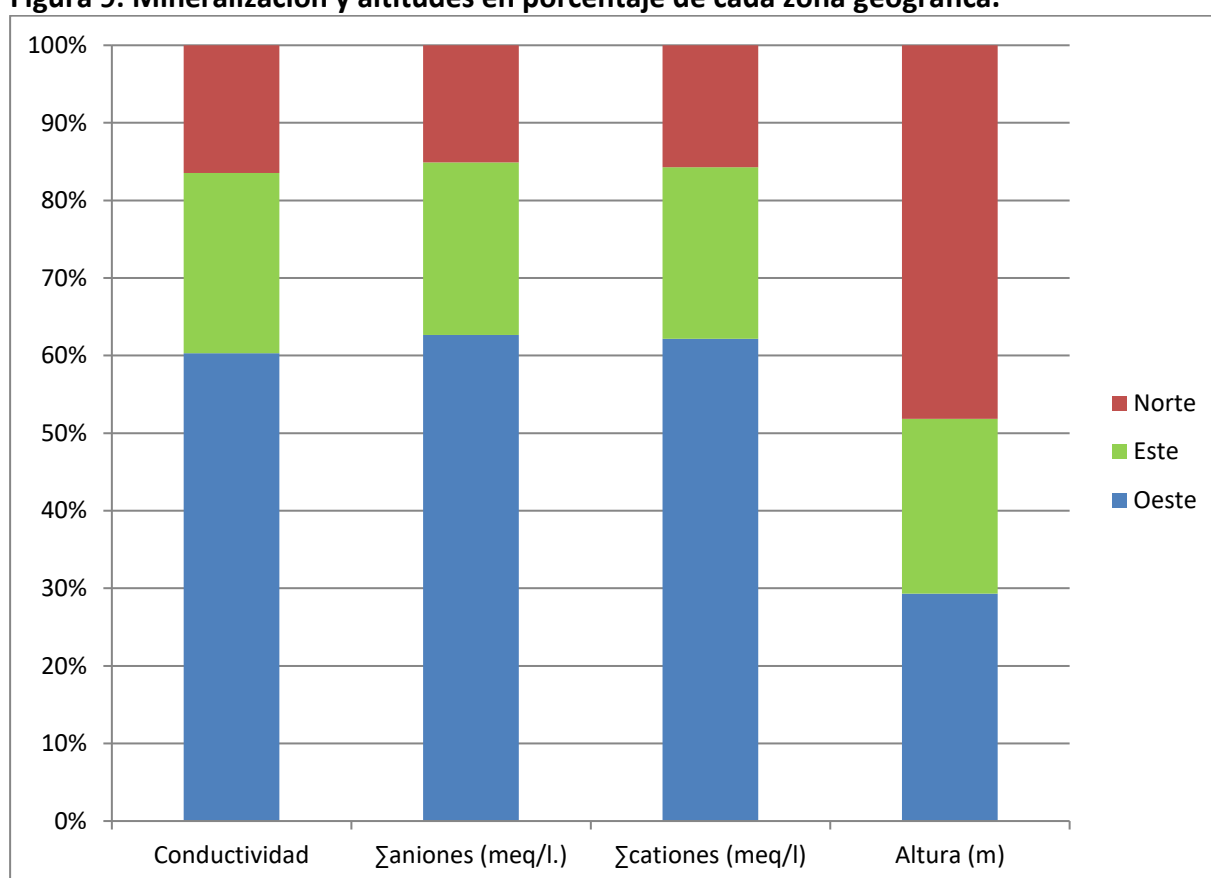


Fuente: Elaboración propia.

De ello se deduce que las aguas más mineralizadas corresponden a las fuentes del Montseny oeste, que las de la zona este suponen menos de la mitad de la mineralización de estas primeras, y que las del norte aún mucho menos, alrededor de solo una cuarta parte. La figura 9 compara los valores en cuanto a porcentaje de mineralización global y suma de aniones y cationes de las zonas norte, este y oeste.

La altitud de la fuente suele ser un factor que influye de manera significativa en la mineralogía de las aguas, pero condiciona más en las zonas norte y este que no en el poniente del Montseny. Tal y como se puede observar en dicha figura 9 que compara el porcentaje que representa cada zona en el total de altitud y la mineralización, valorado en conductividad y suma de aniones y cationes en meq/l., del conjunto de aguas de fuentes de cada una de las zonas estudiadas.

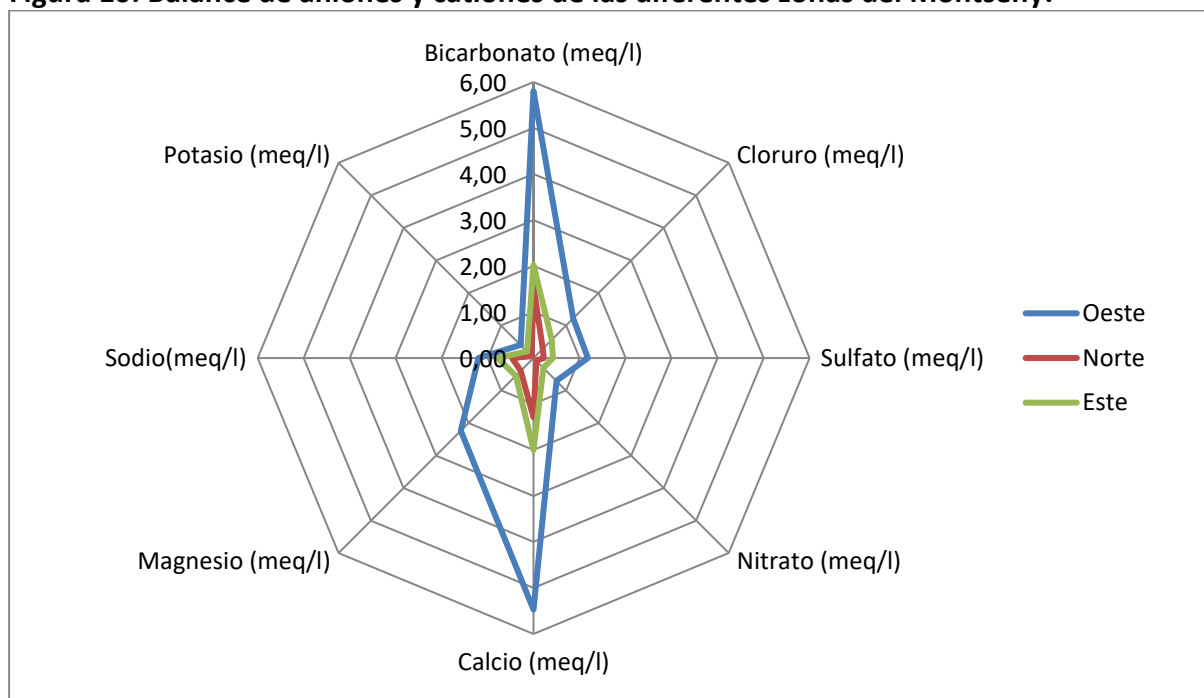
Figura 9: Mineralización y altitudes en porcentaje de cada zona geográfica.



Fuente: Elaboración propia.

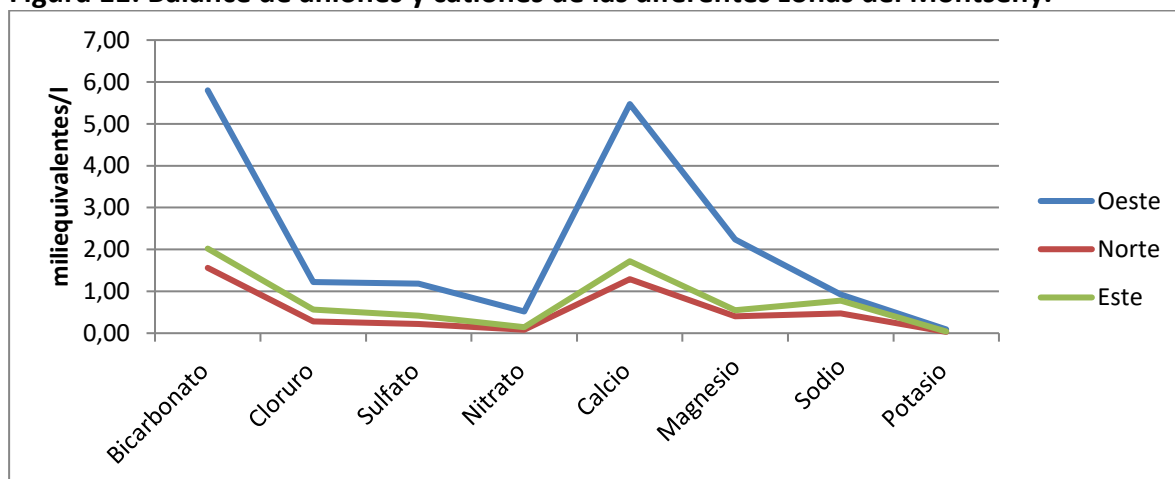
En ella podemos ver que, aunque las fuentes del Montseny oeste tienen menor porcentaje de altitud, tienen una mineralogía claramente superior, como hemos visto anteriormente, cuando tendría que ser al revés si siguiéramos la proporcionalidad inversa que se aprecia en el Montseny norte y este.

Si se estudia el balance iónico valorado en meq/l. de cada una de las diferentes zonas se obtiene la figura 10, donde se observa la imagen formada que nos indica su composición mayoritaria, bicarbonatado cálcica, en todos los casos, y ligeramente magnésicas en el oeste.

Figura 10: Balance de aniones y cationes de las diferentes zonas del Montseny.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 11, se observa que los iones bicarbonato, calcio y magnesio son los que realmente aumentan la mineralización de las aguas del oeste, seguramente por su circulación por formaciones geológicas carbonatadas.

Figura 11: Balance de aniones y cationes de las diferentes zonas del Montseny.

Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Existe una clara polarización mineralógica en las aguas de las fuentes del Montseny en cuanto a los tres ámbitos geográficos estudiados. De manera general, se puede afirmar que la altitud de la fuente tiene una relación inversamente proporcional con la mineralización de su agua, en ámbitos norte y este. No ocurre lo mismo en la zona oeste, donde la correlación negativa,

parámetros fisicoquímicos estudiados respecto a la altitud donde se encuentran las fuentes, es mucho menor.

Las aguas del Montseny este tienen un grado de mineralización, ligeramente superior a las aguas del Montseny norte, con idéntica composición mayoritaria, bicarbonatado cálcica. La misma que en todas las zonas, pero ligeramente magnésicas en el oeste. Estos dos iones mayoritarios son los responsables del aumento de mineralización de las aguas del oeste, seguramente por su circulación por facies carbonatadas.

Las fuentes libres de nitratos se encuentran en el norte del Montseny principalmente y en el este, por el contrario, las aguas de la zona oeste presentan afecciones de nitratos considerables en más de una tercera parte de sus fuentes, sobretodo en la parte baja. Esta consideración no es tenida en cuenta ni conocida por la población local, que se provisiona de agua de sus fuentes particulares, con la firme certeza de la bondad de ellas. Ocurre lo mismo en alguna fuente del Montseny este, en el municipio de Breda. Su localización puntual, con un control exhaustivo de la fertilización de los cultivos y con perímetros de protección, facilitarían la recuperación de la calidad del agua de la fuente.

Durante 2020 se está llevado a cabo el estudio de las aguas de las fuentes naturales del ámbito sur del Montseny, zona de la comarca del Vallès Oriental, de temperatura más benigna, con menor número de fuentes inventariadas y con una presión demográfica, agrícola e industrial superior. Será interesante próximamente comparar los actuales resultados con los obtenidos en esta parte sur del Montseny.

BIBLIOGRAFÍA

- Barberà, M. y Palau, J. (2000): *Història geològica del massís del Montseny-Guilleries*. Font d'Or. L'aigua per naturalesa: Columna Edicions, Barcelona, p. 28- 29.
- Climate Data. (2019): <https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna>.
- Farrerons, O. (2018): Recuperando a cultura das fontes e a água no Montseny. *X Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. "20 años de continuidad de una nueva cultura del agua"*. Coímbra (Portugal). <http://hdl.handle.net/2117/122684>.
- Farrerons, O. (2019): *Racons del Montseny amb aigua*. Sant Vicenç de Castellet: editorial Farell.
- Farrerons, O. y Corella, A. (2020): plano "Projecte fonts del Montseny". <https://www.google.com/maps/d/viewer?hl=es&mid=1NR7adiDk2597xsoOa7sFAvUucBE&ll=41.77379618536315%2C2.421964986732519&z=12>.
- Farrerons, O. y Prat, F. (2017): "Anàlisi mineralògica de les fonts del Montseny nord". AUSA, 178, 693-719.
- Farrerons, O. y Prat, F. (2018): Plano "Anàlisi mineralògica de les fonts del Montseny Oest" <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1TyPB0pHAeaN3YgddaqvMbuCLpG8&ll=41.78366626718336%2C2.258210616302449&z=13>.
- Farrerons, O. y Prat, F. (2019): Plano "Anàlisi mineralògica fonts Montseny Est" <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1mRhV4kjlzmOMgA5wx6uXzLUA3LLpdjhE&ll=41.791921179107355%2C2.366031593408252&z=12>.
- Ministerio de Presidencia. Gobierno de España. 2003: "REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano." Madrid, <http://www.boe.es/boe/dias/2003/02/21/pdfs/A07228-07245.pdf>.

Prat, F. y Farrerons, O. (2018): “Parámetros fisicoquímicos de las aguas de 48 fuentes naturales del Montseny oeste –alto Congost y su comparación con las aguas del Montseny norte”, *Tecnoaqua*, 31, 52-59.

Prat, F. y Farrerons, O. (2019): “Unequal physical-chemical behaviour of water sources in the north, west and east of Montseny (Barcelona-Girona)”, *Tecnoaqua*, 37, 2-10.

Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya. (2020): <https://www.icgc.cat/>

Carmona J.M.; Font, X.; Bisbal, E.; Casas, A. 1999: “Característiques hidrogeoquímiques de les aigües subterrànies i superficials del Montseny”. Monografies 27, Diputació de Barcelona. <http://parcs.diba.cat/documents/155678/7a8419e8-2648-45ec-be1b-5e13009d2c2a>

Gallart, M.; Jimenez, N.; Montijano, V.; Olivé, M.; Ros, A. 2003: “Diagnosi ambiental i historicocultural de les fonts més representatives del Parc Natural del Montseny”. Monografies 30, Diputació de Barcelona. http://81.47.175.201/montseny/attachments/article/30/diagnosi_ambiental_fonts.pdf